



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado

Facultad de Ingeniería Industrial

Unidad de Posgrado

**Utilización de la *Caesalpinia spinosa*, para la
optimización del proceso de curtición de pieles de
cabra: planta piloto**

TESIS

Para optar el Grado Académico de Doctor en Ingeniería Industrial

AUTOR

Luis Eduardo HIDALGO ALMEIDA

ASESOR

Jorge Reinaldo ANGULO CORNEJO

Lima, Perú

2017



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Hidalgo, L. (2017). *Utilización de la Caesalpinia spinosa, para la optimización del proceso de curtición de pieles de cabra: planta piloto*. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Industrial, Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

468



UNIVERSIDAD NACIONAL
MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA
UNIDAD DE POSGRADO

ACTA DE SUSTENTACIÓN N° 05-UPG-FII-2017

SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO
DE DOCTOR EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

En la ciudad de Lima, del día dieciséis del mes de marzo de dos mil diecisiete, siendo las catorce horas, en acto público se instaló el Jurado Examinador para la Sustentación de la Tesis titulada: **"UTILIZACIÓN DE LA CAESALPINIA SPINOSA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE CURTICIÓN DE PIELES DE CABRA: PLANTA PILOTO"**, para optar a Grado Académico de Doctor en Ingeniería Industrial.

Luego de la exposición y absueltas las preguntas del Jurado Examinador se procedió a la calificación individual y secreta, habiendo sido *Rebata* con la calificación de *Distinto (16)*.


El Jurado recomienda que la Facultad acuerde el otorgamiento del Grado Académico de Doctor en Ingeniería Industrial, al Mg. LUIS EDUARDO HIDALGO ALMEIDA.


En señal de conformidad, siendo las *14:00* horas se suscribe la presente acta en cuatro ejemplares, dándose por concluido el acto.


Dr. TINOCO GÓMEZ, OSCAR RAFAEL
Presidente


Dr. DEVALLOS AMPUERO, JUAN MANUEL
Miembro


Dra. GARCÍA ZAPATA, TEONILA DORIS
Miembro


Dr. WONG CABANILLAS, FRANCISCO JAVIER
Miembro


Dr. ANGULO CORNEJO, JORGE REYNALDO
Asesor

RESUMEN

El cromo, metal pesado, utilizado frecuentemente en las curtiembres o tenerías, posee un alto índice de contaminación, por lo que las acciones presentes están encaminadas hacia su sustitución; y, en este contexto, surge la curtición al vegetal como la forma más amigable con el ambiente y aconsejable para remplazar a este método tradicional de curtición. El objetivo central de esta investigación está enmarcado, precisamente, en desarrollar un sistema de utilización de la *Caesalpinia spinosa* (Tara) en el proceso de curtición de pieles de cabra que reemplace al cromo. La *Caesalpinia spinosa* es el vegetal que más taninos pirogálicos o hidrolizables presenta en su estructura, lo cual constituye una vía para desarrollar un sistema de curtición ecológico, con alta eficiencia para transformar el colágeno por efecto de reacciones químicas, en cuero; logrando un rendimiento igual al del sistema de curtición con cromo; y, de esta forma, disminuir la contaminación ambiental debido a los residuos industriales producidos durante el proceso de curtición. La parte experimental de esta investigación transitó por tres momentos importantes, en la búsqueda de la mejor solución: *Primera Fase Experimental (PFE)*: tratamiento de la piel caprina con una mezcla de tanino de Tara a tres niveles: 7, 8 y 9% y Cromo al 4%, respectivamente; *Segunda Fase Experimental (SFE)*: tratamiento de la piel caprina con un concentrado de tanino de Tara a tres niveles: 10, 12 y 14% y *Tercera Fase Experimental (TFE)*: comparación de tratamientos de la piel caprina: con Tara al 12 % y con Cromo al 8%. Los resultados obtenidos evidenciaron que es totalmente viable y técnico, económicamente factible la utilización del tanino de la *Caesalpinia spinosa*, como adecuado sustituto del cromo durante el proceso de curtición de las pieles.

Las características físicas y sensoriales del cuero curtido con los extractos tánicos de este vegetal logró cumplir con las exigencias de la norma IUP, demostrando una alta calidad otorgada a la piel durante el proceso de la obtención del cuero; y, en algunos casos, alcanzó superar las expectativas, en lo referente a los resultados obtenidos durante las pruebas físicas y sensoriales respecto a los cueros curtidos con cromo. La curtición más

adecuada de cueros caprinos se manifestó al utilizar polifenoles vegetales de *Caesalpinia spinosa*; ya que se logró obtener cueros muy adecuados para la confección de calzado. La resistencia física del porcentaje de elongación de 72,12% (TFE) y, la resistencia a la tensión por tracción, con un valor de 333,24 N/cm² (TFE), no registraron diferencias estadísticas apreciables entre los diferentes tratamientos llevados a cabo. Respecto a estos parámetros, se apreciaron resultados más elevados en los cueros curtidos al vegetal. Aspecto también de gran interés fue la evaluación de la temperatura de encogimiento, que alcanzó un valor de 92,86°C (SFE). La evaluación sensorial arrojó resultados altos para la llenura: 4,50 puntos (TFE), -al utilizar curtiente vegetal (T1)-; mientras, que, las evaluaciones de la finura de flor fue de 4,57 puntos (TFE), y la plenitud alcanzó un valor de 4,71(TFE).

Por otra parte, el tratamiento del agua residual, se hizo antes y después del proceso, arrojando resultados muy positivos, en cuanto a la prueba de demanda biológica de oxígeno (DBO₅), -que permite determinar cuánto oxígeno se necesita para lograr eliminar tanto las sustancias orgánicas como inorgánicas en el agua-: antes del tratamiento, con una media de 1461,00 mg O₂/L; mientras que, después del proceso de tratamiento se reportó una media de 225,50 mg O₂/L, con una reducción considerable de este parámetro de calidad de agua -de acuerdo a la normativa ecuatoriana el valor de DBO₅ no debe sobrepasar de 250 mg O₂/L-. Esta prueba se torna indispensable durante el proceso de curtición de pieles, ya que se utiliza una gran cantidad de agentes químicos (como las sustancias floculantes) que, en su mayoría, son solubles en el agua, y son arrastradas por las aguas residuales. Es por ello, que se necesita una apreciable cantidad de oxígeno para lograr la degradación de estas sustancias. En el análisis del DQO efectuado, los resultados antes del tratamiento fue igual a 3153,00 mg/L; mientras, que después del tratamiento, se obtuvo una media igual a 4,76 mg/L (el índice máximo, de acuerdo a la normativa nacional, es de 500 mg/L)

El pH: es otro factor de extrema importancia en los residuales que se generan en el proceso de curtición. El agua residual se caracteriza por tener un carácter ácido, debido a que en ella se encuentra una gran cantidad de sales

disueltas. Durante los ensayos, se determinó que antes del tratamiento el pH tuvo un valor de 6,73; mientras tanto que, después del tratamiento de las aguas residuales fue de 6,88, –la normativa establece un rango de 5-9. Finalmente, las pruebas del contenido de nitratos del agua efectuadas fueron altamente satisfactorias. El análisis reportó, antes del tratamiento un valor de 45,63 mg/L; mientras que después del tratamiento 37,79 mg/L, -la normativa ambiental ecuatoriana exige, para las aguas residuales, depositadas en la alcantarilla, un valor de 40 mg/L.

La evaluación económica determinó que la curtición con Polifenoles vegetales proporciona mayor rentabilidad al proceso productivo, al ser la relación beneficio costo de 1,37; se afirma que por cada dólar invertido se obtendrá 37 centavos de utilidad o el 37% de ganancia

SUMMARY

Chromium, heavy metal, frequently used in tanneries, is highly contaminating, so that the present actions are aimed at its replacement; and, given this problem vegetable tanned leather emerges as the most environmentally friendly and advisable to replace this traditional method of tanning. The central objective of this research is precisely to develop a system utilizing *Caesalpinia spinosa* (Tara) to tan of goatskin replacing chromium in the process. *Caesalpinia spinosa* is the plant with the most pyrogallic or hydrolysable tannins present in its structure, thus it can be used to develop an ecological tanning system, with high levels of efficiency to transform the collagen – through chemical reactions-, in leather; achieving a performance equal to that of the system of tanning with chromium; hence it is possible to reduce environmental pollution due to industrial waste produced during the tanning process. The experimental part of this research went through three important stages in search of the best solution: *First Experimental Phase* (EFP): treatment of goat skin with a mixture of Tara tannin at three levels: 7, 8 and 9% and 4% chromium, respectively; *Second Phase Experimental* (SFE): treatment of goat skin with a concentrate of Tara tannin at three levels: 10, 12 and 14% and *Third Experimental Phase* (TFE): comparison of treatments of goat skin: with Tara at 12% And with 8% Chromium. The results showed that the use of *Caesalpinia spinosa* tannin as a suitable substitute for chromium during the tanning process is totally viable and technically and economically feasible.

The physical and sensorial characteristics of the tanned, leatho with the tannic extracts of this vegetable, managed to meet the requirements of the IUP standard, presenting a high quality given to the skin during the process of obtaining the leather; and, in some cases, exceeded expectations, regarding the results obtained during the physical and sensory tests in comparison with the leather tanned with chromium. The most suitable tanning of goat skins was presented when using plant polyphenols of *Caesalpinia spinosa*; as it was possible to obtain very suitable leathers very suitable for the preparation of footwear. The physical resistance of the elongation percentage: 72.12% (TFE)

and tensile strength, with a value of 333.24 N/cm² (TFE), did not show significant statistical differences between the different treatments carried out. With respect to these parameters, higher results were observed in vegetable tanned hides. Also of great interest was the evaluation of the shrinkage temperature, which reached a value of 92.86°C (SFE). The sensorial evaluation showed high results for the fullness: 4.50 points (TFE), - when using vegetable tanning (T1) -; while, that, the evaluations of softness of the leather was of 4.57 points (TFE), and the fullness reached a value of 4.71 (TFE).

On the other hand, the treatment of wastewater was done before and after the process, yielding very positive results in terms of the biological oxygen demand test (DBO₅), which allows one to determine how much oxygen is needed to eliminate both the organic and inorganic substances in water: before treatment, with a mean of 1461.00 mg O₂/L; while an average of 225.50 mg O₂/L was reported after the treatment process, with a significant reduction in the water quality parameter -according to the Ecuadorian norm the BOD₅ value should not exceed 250 mg O₂/L-. This test is indispensable during the fur tanning process, since a large number of chemical agents (such as flocculants) are used, which are mostly soluble in water, and are washed away by waste water. It is the reason that a significant amount of oxygen is needed to achieve the degradation of these substances. In the DQO analysis performed, the results before treatment were equal to 3153.00 mg/L; while, after treatment, a mean of 4.76 mg/L was obtained (the maximum index, according to national regulations, is 500 mg/L).

The pH: is another factor of extreme importance in the residuals that are generated in the tanning process of tanning. The residual water is acidic in character, because it contains a large amount of dissolved salts. During the tests, it was determined that before the treatment the pH had a value of 6.73; meanwhile, after treatment of the wastewater was 6.88, - the regulation establishes a range between 5 and 9. Finally, the tests of nitrate content of water were highly satisfactory. The analysis reported, before treatment a value of 45.63 mg/L; while after treatment 37.79 mg/L, -the Ecuadorian environmental

regulations require, for the waste water deposited in the sewer, a value of 40 mg/L.

The economic evaluation determined that tanning with plant polyphenols provides greater profitability to the productive process, with a cost benefit ratio of 1.37; it is stated that for every dollar invested you will get 37 cents of profit or 37% of profit.